

일차원 광자결정을 이용한 평탄밴드 투과 필터

남기연, 이은선, 임우식, 김준형, 조성준, 이현용
전남대학교 응용화학공학부

Flat-band path filters based on one-dimensional photonic crystals

Gi-Yeon Nam, Eun-Sun Lee, Woo-Sick Im, Jun-Hyong Kim, Sung-June Cho, Hyun-Yong Lee
Faculty of Applied Chemical Engineering, Chonnam National University

Abstract

파장 분할 다중화 방식(WDM)의 광통신은 중앙 기지국에서 각 가입자에게 서로 다른 파장을 할당하여 동시에 데이터를 전송하는 방식으로 각 가입자는 할당된 파장을 이용하여 항상 데이터를 송/수신할 수 있고 각 가입자에게 대용량의 데이터를 전송할 수 있을 뿐만 아니라 통신의 보안성이 뛰어나고 성능 향상이 용이하다. 따라서 상, 하향(양방향, bidirectional) 3파장 WDM-필터 소자(Flat band-path filter)는 광 가입자망 구축에서 통신·방송을 융합한 양방향 고품질 멀티미디어 서비스 사업에 반드시 필요로 하는 원천 부품이다. 본 연구에서는 1차원 광자결정을 이용한 저 손실 양방향 3파장 WDM-필터를 얻을 수 있는 이론적 모델을 설계하고 그에 따라 2-cavity Ta₂O₅/SiO₂ 1차원 광자결정체를 제작하고 그 특성을 고찰 하였다. 파장에 따른 투과도 측정 결과 1550nm 파장에서 투과되고 1310nm 및 1490nm 파장에 대한 차단이 이론값과 일치하였다. 1550nm 파장 대에서 손실이 매우 낮은 flat-투과 밴드가 생성되었다. 특히 입사각도에 따라 flat-band 중심 파장의 변화를 이용하므로 새로운 개념의 WDM 소자로의 응용이 가능하다.

Key Words : 일차원광자결정, 3-파장 트랜시버, 평탄밴드 투과필터

1. 서 론

인터넷과 이동통신 서비스는 널리 보편화되어 실생활에서 떼어놓을 수 없는 필수 불가결한 요인이 되어 있고, 더 나아가 언제 어디서나 다양한 멀티미디어 서비스가 제공되는 시대가 도래되었다. 이에 따라 음성, 데이터, 문서, 영상, 동화상, CATV 및 HDTV 등을 동시에 제공하는 광대역 초고속 통신망의 구축이 요구되고 있으며 이에 따른 인터넷 이용자의 급증으로 속도의 고속화, 대용량화, 유무선통합화, 멀티미디어화 및 다양한 서비스가 증가하고 있다. 이를 구현하기 위해 각국은 테라 비트 급 광통신용 시스템 및 소자기술을 개발하고, 전송방식도 점대점(point-to-point)전송에서 네트워크 전송으로 변환하고 있다. 따라서 컴퓨터가 모든 시스템기기에 내장되고 이것들이 모두 유기적으로 결합되어 전 세계를 연결함으로써 급증하는 다양한 정보를 하나의 통신망으로 통합시켜 제공하는 광대역 초고속정보망의 구축을 위한 광통신망의 확충이 필요하고 이러한 광대역 서비스를 가입자에게 공급하기 위하여 광섬유를 가입자단까지 직접 연결할 수 있는 기술적, 경제적으로 접근성이 용이한 광가입자망에 대한 관심이 높아지고 있다. 통신망 선진국인 우리나라 역시 최근 광대역 통신망 보급을 위해 막대한 예산을 산정해 놓고 있다.

수동형 광가입자망 (PON : passive optical network)은 중앙 기지국(CO)에서 가입자(subscribers)들의 인접 지역에 설치된 지역 기지국까지는 단일광섬유로 연결하고 지역

기지국에서 각 가입자까지 독립된 광섬유로 연결하는 이중 성형 구조로 구현하여 광선로의 길이를 최소화한다. 그리고 수동형 광소자들을 가입자들이 공유함으로써 초기 설비 투자비용을 줄일 수 있으며, 광 네트워크의 유지 보수 및 관리가 용이하다. 또한, 통신 시스템의 발전에 따라 상향 시스템으로의 전이 시에도 기존의 광 네트워크를 그대로 사용할 수 있다. PON은 크게 시분할다중화 (TDM: time division multiplexing) 방식과 파장분할다중화 (WDM, wavelength division multiplexing) 방식으로 나눌 수 있다.

TDM 방식은 동일 파장 대역을 시간적으로 분할하여 중앙 기지국에서 각 가입자에게 분할된 시간간격(time slot)을 할당하고 데이터를 전송하는 방식으로 각 가입자는 할당된 시간 간격에만 데이터를 송/수신할 수 있다. 이 방식에서는 중앙 기지국에서 각 가입자까지의 거리가 서로 다르므로 정확히 할당된 시간 간격에서 데이터를 송/수신하기 위하여 각 가입자단은 중앙 기지국의 시간 기준에 따라 동기화가 이루어져야 한다. 이 방식은 다양한 광대역 서비스의 공급을 위한 전송 용량 증대와 가입자의 증가에 따라 중앙 기지국에 위치한 광전송 시스템의 전송 용량이 급격히 증가되어야 하므로 상향 시스템으로의 전이가 경제적/기술적 측면에서 쉽지 않다.

WDM 방식은 중앙 기지국에서 각 가입자에게 서로 다른 파장을 할당하여 동시에 데이터를 전송하는 방식으로 각 가입자는 할당된 파장을 이용하여 항상 데이터를 송/수신할 수 있고 각 가입자에게 대용량의 데이터를 전

송할 수 있을 뿐만 아니라 통신의 보안성이 뛰어나고 성능 향상이 용이하다. 따라서, 상,하향(양방향, bidirectional) 3파장 WDM-필터 소자(Flat band-path filters)는 광가입자망 구축에서 통신-방송을 융합한 양방향 고품질 멀티미디어 서비스 사업에 반드시 필요로 하는 원천 부품이다. 본 연구에서는 1차원 광자결정을 이용한 저손실 양방향 3파장(1550, 1490, 1310nm) WDM-필터의 이론적 모델을 설계하고 계산-틀로부터 얻어진 결과를 제시하고 고찰 하였다.

광통신 시스템에서 말하는 트랜시버(transceiver)란 일반적으로 central officer (CO)와 개인사용자간의 물리적 연결 소자를 총칭한다. 그 중 3파장 양방향 트랜시버란, 사용자가 1490nm 파장의 디지털 하향정보(downstream data)를 받고 1310nm 파장의 디지털 상향정보(upstream data)를 CO에 전송하는 양 방향 전송과 동시에 1550nm 파장의 아날로그 비디오 방송정보를 제공 받을 수 있도록 꾸며진 소자로 통상적으로 광 검출기(PD: photo diodes) 및 광원(LD: laser diodes)들과 조합을 이룬다.

그림 1은 현재 상용되었거나 사용예정인 광성유 트랜시버를 보인다. 그림에서 보는 바와 같이 2개의 이색미러(dichroic mirrors)와 섬유-단 렌즈들을 포함한다.

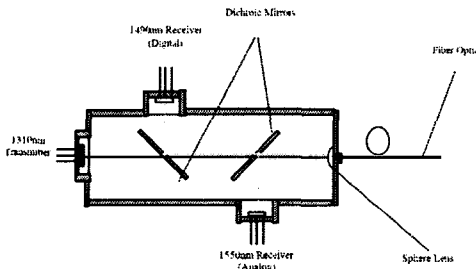


그림 1 광성유 양방향 3파장 트랜시버 개념도

2. 실험

2.1 양방향 3파장 WDM-필터를 위한 광자결정 설계 및 디자인

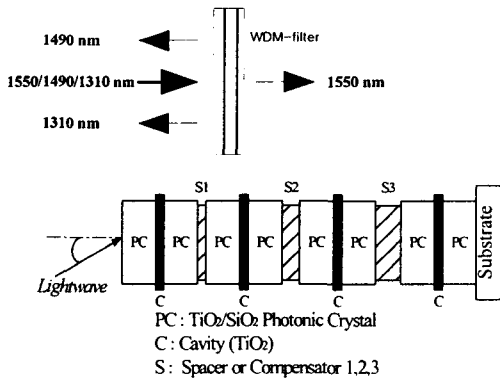


그림2 양방향 3파장(1550, 1490, 1310nm) 필터의 개념도 및 4-cavity flat-band pass WDM-필터용 광자결정의 설계도. 여기서 광자결정의 기본구조는 Ta₂O₅(또는 TiO₂)/SiO₂임.

양방향 3파장(1550, 1490, 1310nm) WDM-필터(2개의 이

색 미러 대신 단일 필터 사용)로서 사용되기 위해 각 파장별 단자에서의 flat-band 폭, 삽입손실(insertion loss) 및 isolation이 중요한 평가 지표가 된다.

광의 입사각은 8°로 지정하고 재료를 선택, 각 구조의 두께를 제어하므로 1550nm 파장에 대해 저손실의 flat-투과 밴드를 가지며 1310nm 및 1490nm에 대해 완전 차단이 가능한 광자결정 필터를 설계한다. 본 연구에서는 그림 2의 기본 구조를 가진 SiO₂를 기본으로한 TiO₂ 및 Ta₂O₅ 유전체를 이용한다. 계산-틀을 이용하여 얻어진 SiO₂/TiO₂ 광자결정의 필터 특성을 그림 3 및 그림 4에 보였다. 또한 그림 6의 2-cavity Ta₂O₅/SiO₂ 일차원 광자 결정의 구조 및 구조 매개변수 값과 계산-틀로부터 얻어진 결과를 보였다.

3. 결과 및 고찰

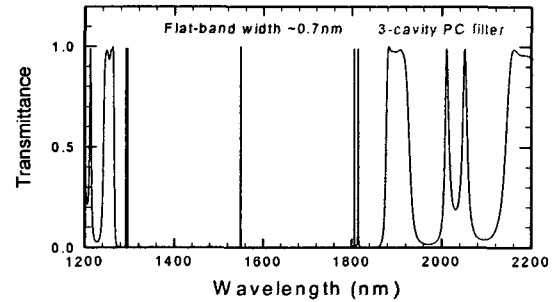


그림 3 계산된 3-cavity SiO₂/TiO₂ 광자결정 필터 특성

그림 3은 3-cavity 광자결정 필터에 대한 1200-2200nm 파장 범위에서의 투과 특성을 보인 것이고 그림 4는 1, 2, 3-cavity 광자결정 필터에 대한 미세 파장범위에서의 투과 특성으로, 특히 2-cavity의 경우 중심파장에서의 손실은 약 0.004 dB 이하이고 3-cavity의 경우 0.3 dB의 손실을 갖는 0.7nm의 flat-band를 보임을 알 수 있다.

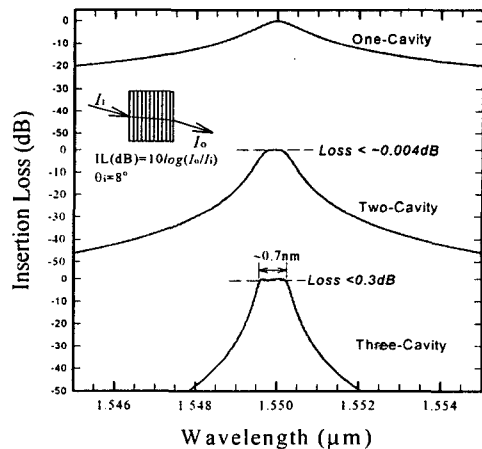
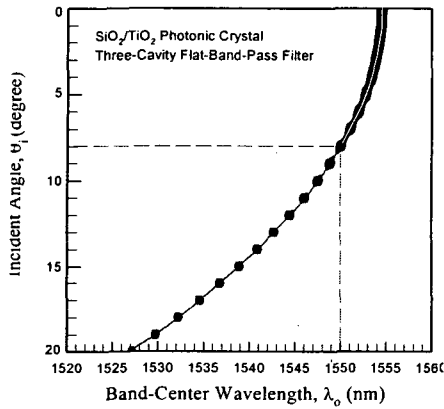


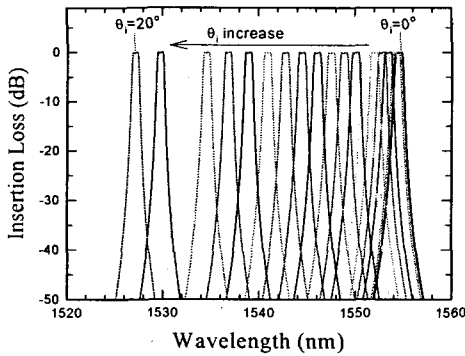
그림 4 1, 2, 3-cavity를 갖는 SiO₂/TiO₂ 광자결정-필터의 계산된 삽입손실

이러한 특성은 적절한 재료 및 설계파라미터를 변경하므로 개선 가능할 것이다. 특히, 이러한 광자결정 WDM-필터는 입사각에 따라 flat-band 중심파장의 변화를 가질

수 있어 그림 5와 같이 광통신소자에 다양하게 응용될 수 있다.



(a)



(b)

그림 5. Flat-band-path 필터용 SiO₂/TiO₂ 1차원 광자결정(a) 입사각도 변화에 따른 필터링 중심파장 의존성과 (b) 새로운 개념의 WDM 소자로의 응용성

그림 6은 2-cavity Ta₂O₅/SiO₂ 1차원 광자결정의 구조 및 구조 매개변수 값과 계산-틀로부터 얻어진 결과를 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 $n_H(\text{Ta}_2\text{O}_5)=2.2$, $n_L(\text{SiO}_2)=1.47$ 로 가정하여 계산하였다. 오른쪽 그림은 MathCAD output이다.

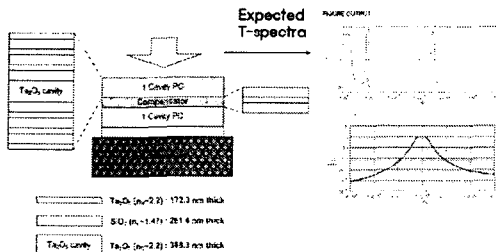


그림 6. 2-cavity Ta₂O₅/SiO₂ 1차원 광자결정의 구조 및 계산 결과

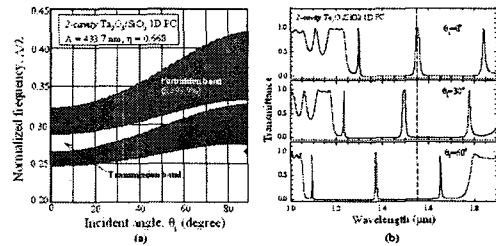


그림 7. 2-cavity Ta₂O₅/SiO₂ 1차원 광자결정에 대한 (a)광자밴드구조와 (b)투과-스펙트라

그림 7은 그림 6의 광자결정에 대한 광자밴드구조와 입사각 0°, 30° 및 60°에 대한 투과 스펙트라이다. 이때 금지대는 반사도가 99.9%인 경우이며, 비교적 넓은 flat-transmission bands를 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 1차원 광자결정을 이용한 저 손실 양방향 3파장 WDM-필터를 얻을 수 있는 이론적 모델을 설계하고 계산-틀로부터 얻어진 결과를 제시하였으며, 그에 따른 2-cavity Ta₂O₅/SiO₂ 1차원 광자결정체의 구체적인 구조 및 구조 매개 변수 값과 계산 결과를 얻었다. 본 연구의 이론적 모델에 따라 제작된 광자결정 WDM-필터는 중심파장에서의 삽입손실이 낮고 flat-band를 보임을 알 수 있고, 특히 입사각에 따라 flat-band 중심 파장의 변화를 가질 수 있다. 이러한 특징은 새로운 개념의 WDM 소자로서의 응용이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-03-03) 지원으로 수행되었음

참고 문헌

- [1] E.Yablonovitch, *Phy. Rev. Lett.* **58**, p.2059 1987.
- [2] J.D.Joannopoulos, R.Meade, and J.Winn, *Photonic Crystals (Princeton Univ. Press, Princeton, 1995)*.
- [3] J.D.Joannopoulos, P.Villeneuve, and S.Fan, *Nature (London)* **386**, p.143, 1997.
- [4] Y.Fink, J.N.Winn, S.Fan, C.Chen, J.Michel, J.D. Joannopoulos, and E.L.Thomas, *Science* **282**, p. 1679, 1998.
- [5] J.C.Knight, J.Broeng, T.A.Birks, and P.S.J. Russell, *Science* **282**, p.1476, 1998.
- [7] H.Y.Lee and T.Yao, *J. Appl. Phys.* **93**, p.819, 2003; *Virtual J. Nano. Sci. Technol.* **2**, 2003.
- [8] H.Y.Lee, H.Makino, T.Yao, and M.Tanaka, *Appl. Phys. Lett.* **81**, p.4502, 2002.
- [9] H.Y.Lee and T.Yao, *J. Kor. Phys. Soc.* **44**, p. 387, 2004.
- [10] H.Y.Lee and T.Yao, *J. Appl. Phys.* **97**, 1(2005)